

7

Regiões mais favoráveis ao crescimento e produção de madeira de eucalipto na região Sul do Brasil

Marcos Silveira Wrege
Marilice Cordeiro Garrastazu
Márcia Toffani Simão Soares
Elenice Fritzsons

Introdução

O setor florestal brasileiro, em conjunto com os demais setores da agropecuária (agricultura, pecuária e frutíferas), dominou o conhecimento de técnicas de cultivo em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, alcançando produções cada vez maiores, praticamente sem expansão significativa de área plantada nas últimas décadas. Este ganho ocorreu, em parte, em função do desenvolvimento do melhoramento genético, mas também às ações voltadas ao planejamento de uso da terra, como a realização e execução do zoneamento agrícola de riscos climáticos (Zarc).

Em primeiro lugar, é importante ressaltar que o primeiro zoneamento para espécies florestais, usado como referência até hoje, foi o de Golfari et al. (1978). Na época, o zoneamento foi realizado via Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal do Brasil (Prodepef) e foi bastante utilizado por diferentes profissionais do setor de florestas plantadas no Brasil. Este zoneamento é ainda muito utilizado pelo setor florestal. A metodologia, no entanto, é diferente da utilizada no ZARC, em função da disponibilidade de dados que havia na época.

O zoneamento atual, vinculado ao seguro rural e ao crédito agrícola, foi criado para atender a uma demanda do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), com a finalidade de reduzir o déficit, a sinistralidade e as coberturas duvidosas do programa, o qual utilizava metodologias inadequadas que, associadas à escassez de recursos públicos, inviabilizavam a sua continuidade nos moldes originais (Cunha; Assad, 2001). Era, portanto, necessário criar uma metodologia baseada nos riscos climáticos, o que foi feito a partir de 1996 com a criação de um grupo de trabalho liderado pela Embrapa, com a participação de instituições parceiras, principalmente os institutos estaduais de pesquisa agropecuária, tais como: Instituto Agrônomo Paraná (Iapar), Instituto Agrônomo (IAC), Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul (Fepagro), dentre outros.

O zoneamento agrícola, nome dado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) na época, ano de 1996, embora utilize o termo ‘agrícola’, na verdade representa todas as culturas agrícolas, florestais, frutíferas e a pecuária. Assim, neste capítulo será utilizado o termo zoneamento agrícola, ou Zarc, para representar todos estes setores.

O Proagro foi estabelecido pela Lei 5.969, de 11 de dezembro de 1973 (Brasil, 1973). Com a adoção do zoneamento agrícola, em 1996, passou-se a trabalhar de maneira diferenciada, com baixo custo, devido à redução dos riscos climáticos e aumento da produtividade agrícola. Nesta época, trabalhos feitos com embasamento técnico e científico começaram a dar suporte ao programa, entre os quais os zoneamentos das culturas do trigo, feijão (Caramori et al., 1998, 2001b), milho (Gonçalves et al., 2002), soja, algodão, arroz de sequeiro, café (Caramori et al., 2001a), maçã,

eucalipto (Cunha; Assad, 2001; Flores et al., 2009; Filippini Alba et al., 2011; Higa et al., 2014; Wrege et al., 2017a).

O zoneamento agrícola oficial do Mapa, instituído em 1996, teve a primeira espécie florestal mapeada, o eucalipto, em 2009 (Flores et al., 2009; Filippini Alba et al., 2011; Higa et al., 2014; Wrege et al., 2017a). Os critérios foram feitos em nível regional, o que permitiu atender as especificidades de cada região e os riscos climáticos foram analisados em conjunto com a fenologia da planta, por estado, considerando as características climáticas regionais.

No entanto, o ZARC feito pela Embrapa e instituições parceiras nem sempre foi o utilizado pelo Mapa, visando atender as demandas do Proagro e do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), como é o caso do zoneamento do eucalipto. Contudo, a equipe, a base de dados e os critérios usados foram os mesmos. O objetivo do zoneamento agrícola para o eucalipto é indicar aos produtores quais são as zonas com os menores riscos climáticos para plantio das principais espécies comerciais de eucalipto. Seguindo-se as recomendações do zoneamento, diminui o risco de ocorrência de sinistros, mas diminuir não significa “zerar” e, portanto, ainda existem riscos, e pelos critérios adotados pelo Mapa, são aceitos até 20% de risco de insucesso, o que confere possibilidade de uma perda de produção, na média, a cada cinco anos, causada por eventos climáticos adversos, como geada ou estiagem severa. Esse valor, estipulado com base em dados econômicos, foi calculado pelo Mapa e é a perda que seria possível de ser assumida, sem comprometer a sustentabilidade do sistema de seguro rural.

O zoneamento elaborado pela Embrapa e instituições parceiras é feito em nível de espécie, de cultivar ou de variedade e, em muitos casos, as variações microclimáticas e edáficas são consideradas em nível de município. Na maioria dos casos, não são ainda considerados os solos, em virtude da escala ser ainda muito pouco detalhada, 1:250.000 ou 1:500.000, dependendo da região. Atualmente, existe um grupo de trabalho empenhado em melhorar a escala dos solos no Brasil, para que possa ser utilizado nos zoneamentos futuros. Existem alguns trabalhos regionais isolados utilizando os solos em escala semidetalhada (1:10.000 ou 1: 50.000), que serão apresentados neste capítulo, como exemplo do que poderá ser feito no futuro, quando a escala de solos no País for melhorada.

Nos primeiros zoneamentos de riscos climáticos, feitos a partir de 1996, as equipes regionais de agrometeorologistas se reuniam com as equipes de pesquisadores responsáveis pelos programas voltados ao desenvolvimento das culturas regionais e elaboravam as ações conjuntas de planejamento para a elaboração do zoneamento. Para isso, as atividades de parceria entre Embrapa e instituições estaduais eram imprescindíveis, tais como Iapar, Epagri, Fepagro, IAC, entre outras. Depois dos riscos serem calculados e geoespacializados, era apresentada uma primeira versão de zoneamento para a equipe de trabalho, que o analisava criticamente e apresentava sugestões de melhoria,

visando construir um instrumento de redução de riscos climáticos eficaz para uso dos agricultores e garantir a sustentabilidade do sistema de crédito agrícola e seguro rural no País.

Quanto aos critérios relacionados aos riscos climáticos, na região Sul do Brasil, eram considerados os riscos de geada e o risco de déficit hídrico. Estes dois fatores representam os maiores riscos para a agricultura, conforme ilustra a Figura 1. Nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, considerava apenas o risco de déficit hídrico, e era então utilizado o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), porque o risco de geada nestas regiões é muito raro, exceto nas zonas de altitude de São Paulo e no Sul de Minas Gerais.

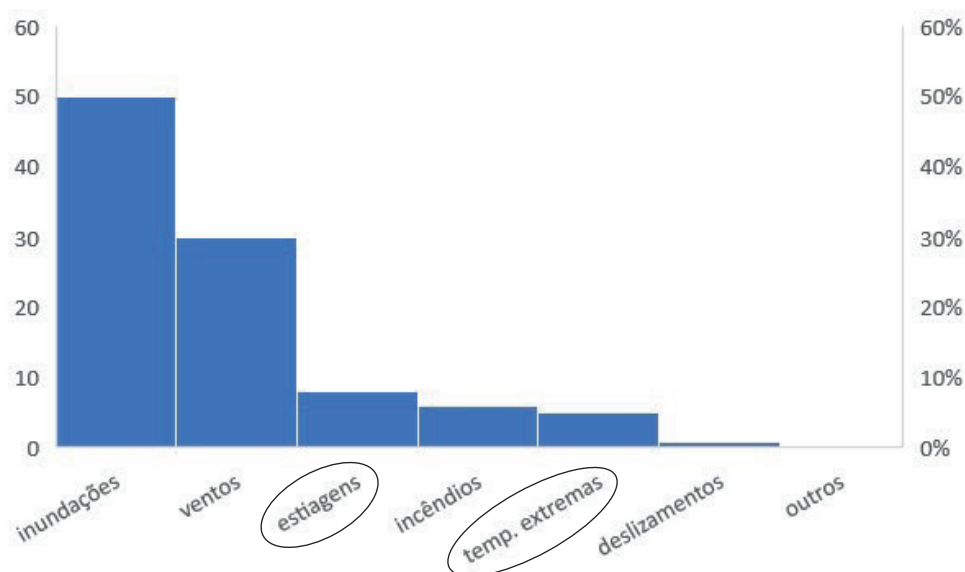


Figura 1. Principais fatores climáticos causadores de danos econômicos no mundo.

Neste capítulo, são apresentadas e analisadas as ações desenvolvidas pela Embrapa e instituições parceiras para o eucalipto, quanto aos zoneamentos agrícolas feitos na região Sul do Brasil, nos últimos anos. Serão também apresentadas ações futuras, com perspectivas de melhoria dos trabalhos a serem desenvolvidos nos próximos anos, visando dar suporte às políticas agrícolas e, com riscos climáticos reduzidos, de modo a garantir a sustentabilidade do crédito agrícola e do seguro rural no Brasil.

Assim, são apresentados os zoneamentos agrícolas de riscos climáticos e edafo-climáticos feitos pela Embrapa e seus parceiros, incluindo como exemplo para o

desenvolvimento de trabalhos futuros, o zoneamento edafoclimático em escala semidetalhada para o eucalipto na região do Corede Sul (Conselho Regional de Desenvolvimento), conjunto de municípios vizinhos com características comuns situados na metade sul do Rio Grande do Sul. A escala deste zoneamento foi 1:50.000 e, diferentemente de outros zoneamentos agrícolas, foram adicionados atributos de solos, além das variáveis de clima, compondo um zoneamento edafoclimático, o qual, se adotado futuramente pelo Mapa, poderá reduzir os riscos e aumentar ainda mais a segurança do sistema de crédito agrícola e seguro rural no País.

Metodologia aplicada ao zoneamento agrícola

Na elaboração do zoneamento agrícola, as primeiras ações são voltadas à conferência da completude, consistência e dos erros existentes na base de dados climáticos, que deve ser composta por uma rede de estações meteorológicas bem distribuídas em todo o território, com histórico de dados climáticos diários de, pelo menos, 30 anos, de acordo com as normas estabelecidas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para o cálculo das normais climatológicas. Os dados mais importantes para as análises são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica. Com estas duas variáveis climáticas, pode-se estimar o ciclo da planta pela soma térmica e calcular os riscos de geada, de déficit hídrico e de pluviosidade nas fases críticas de desenvolvimento da cultura no campo.

A partir destes dados, as ações seguintes se referem a sua geoespacialização em sistemas de informações geográficas (SIG), por meio de técnicas de mapeamento e, assim, são classificadas as melhores zonas e períodos para o plantio. O mapa de altitude é usado como suporte para o mapeamento das temperaturas e do risco de geada, conforme metodologia desenvolvida por Pinto et al. (1972), utilizada por Wrege et al. (2011).

Zoneamento agrícola de riscos climáticos - critérios usados para definição das classes de preferência

Risco de déficit hídrico

No caso do eucalipto, o risco de déficit hídrico é mais relacionado à diminuição do incremento médio anual (IMA) do que pela perda de plantas, pelo fato de ser uma espécie perene, com ciclo comercial de sete anos, em média. Este risco pode ser um problema no primeiro ano de plantio, nas regiões mais secas do País. Na região Sul dificilmente ocorre problema mais grave.

O déficit hídrico é calculado segundo metodologia utilizada e descrita por Wrege et al. (1997) e é simplificadamente representado pelo esquema da Figura 2, envolvendo o conceito do balanço hídrico. O risco de déficit hídrico (dh) é calculado pela análise percentual de quantos dias (x), a cada dez dias, ocorre déficit hídrico, utilizando a fórmula:

$$dh = \left(\frac{x}{10}\right)100$$

O cálculo do risco de deficiência hídrica (Figuras 2 e 3) é feito para estimar quais são as regiões e os períodos do ano mais favoráveis para o plantio, com baixo risco de ocorrência de déficit hídrico, podendo-se efetuar o plantio, com a garantia de boa produtividade, sem a necessidade de irrigação. Com isso, pode-se reduzir bastante a ocorrência de sinistros causada pela falta ou escassez de chuva. Na Figura 3, apresentada como exemplo, verifica-se que, no verão, o risco de déficit hídrico é maior na metade sul do Rio Grande do Sul e menor na metade norte, onde inclusive a produtividade de grãos, na maioria dos casos, é bem maior. Na região da fronteira oeste, os riscos são bastante elevados nesta época do ano ($> 40\%$, ou seja, a cada dez anos, em pelo menos quatro anos ocorre déficit hídrico). No outono e na primavera, os riscos diminuem e no inverno não há risco. Estes dados de risco são utilizados para fazer o

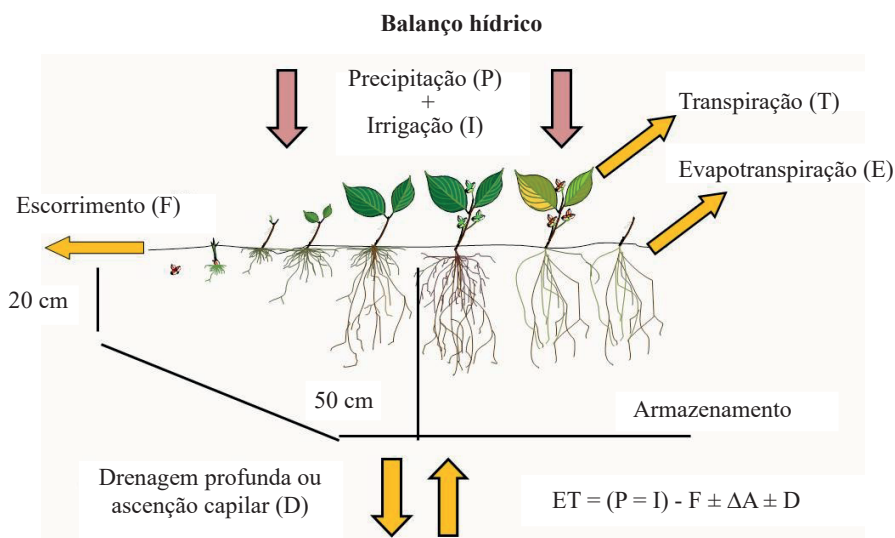
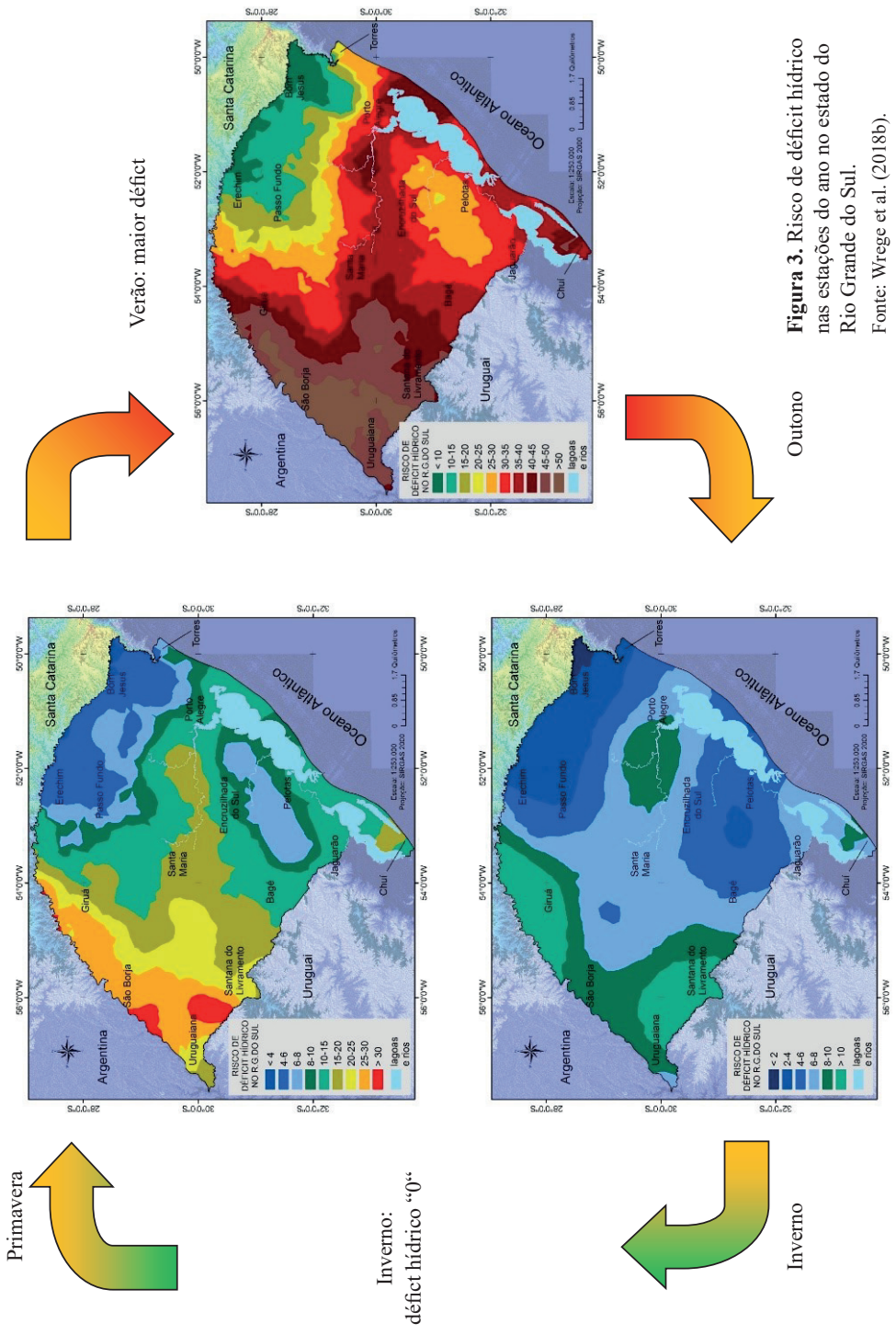


Figura 2. Representação esquemática do balanço hídrico, com a entrada de água no sistema solo-planta-atmosfera pela Precipitação (P) + Irrigação (I) + Ascensão capilar (F); saída de água do sistema pela Evapotranspiração (ΔA) + Drenagem profunda (D) e o Armazenamento de água no solo resultante entre o que havia armazenado no dia anterior, somado ao movimento de entradas e saídas de água que ocorreram no dia.



zoneamento agrícola. Pode-se observar o quanto são variáveis as condições climáticas no País, muitas vezes observadas em nível de municípios (Wrege et al., 2018a).

Risco de geada

O risco de geada é importante na região Sul do Brasil. Nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, este risco é o que define as regiões e os períodos com os menores riscos para plantio, seguido do risco de déficit hídrico. A época de semeadura é variável conforme a região e a cultura, podendo ser feita quando o risco cair para um valor mínimo (<20% - valor de referência definido pelo Proagro/Mapa) (Figura 3).

O risco de geada é calculado indiretamente, por meio da temperatura mínima, pois existe uma relação direta entre a temperatura mínima que ocorre no abrigo meteorológico e a ocorrência de geada. Essa relação foi definida por Grodzki et al. (1996), que considerou uma diferença de 3 °C a 4 °C entre a temperatura registrada no abrigo e a relva. Assim, quando a temperatura mínima é 3 °C no abrigo na relva é 0 °C, podendo causar prejuízos econômicos às lavouras. O risco de geada é calculado desta forma, pois raramente existem informações sobre ocorrência de geada na rede de estações meteorológicas existente no Brasil. A observação visual de ocorrência de geada é uma informação subjetiva, dependendo da percepção pessoal do observador meteorológico e, portanto, de baixa confiabilidade. Além disso, a temperatura que pode causar danos para uma espécie pode ser diferente para outra e esse dado é o realmente importante.

O risco de geada (rg) é determinado percentualmente pelo número de dias (x) com temperaturas mínimas menores que 1 °C, 2 °C ou 3°C (dependendo da cultura) registradas no abrigo meteorológico a cada dez dias, conforme a fórmula:

$$rg = \left(\frac{x}{10}\right)100$$

A probabilidade de ocorrência de geada para a região Sul do País foi calculada pela “Regra de Distribuição de Extremos” e foi descrita no trabalho desenvolvido por Wrege et al. (2018a).

A Figura 4 apresenta um gráfico do comportamento do risco de geada em várias localidades ao longo do ano, no estado do Paraná. Existe um período de menor risco, indicado para o plantio, variável conforme o município, dependendo da latitude e da altitude. Por exemplo, os municípios de Umuarama e de Londrina têm latitudes e altitudes menores e, portanto, as temperaturas são maiores. Com isso, o risco de geada é menor e a amplitude do período para plantio é maior. Os municípios de Guarapuava e de Palmas, ao contrário, têm maiores latitudes e altitudes, são de clima mais frio e os riscos de geada são maiores e a amplitude do período de plantio é menor.

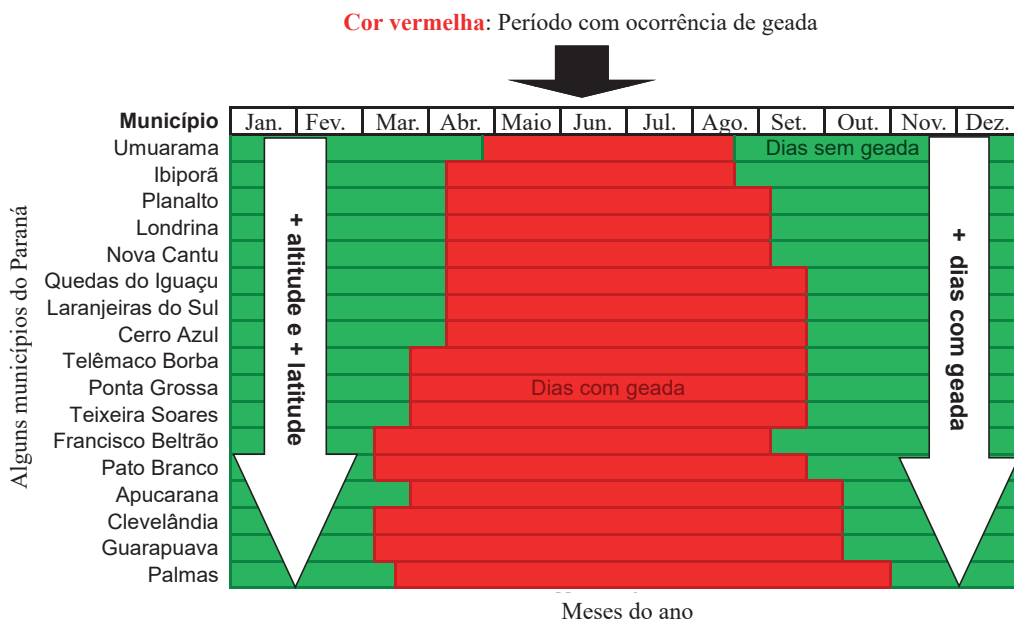


Figura 4. Representação esquemática do risco de geada. Barras vermelhas: período com alto risco de geada (outono-inverno) e barras verdes: período com baixo risco de geada (primavera-verão - risco <20%), quando a cultura pode ser implantada no campo. Municípios organizados em ordem crescente de dias com ocorrência de geada. (Os municípios apresentados são aqueles onde estão localizadas as estações meteorológicas do Paraná, monitoradas pelo Iapar/Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar).

Na elaboração do zoneamento, muitas camadas de clima são usadas, como as camadas da Figura 5 (Wrege et al., 2018a), apresentadas como exemplo, onde se pode observar que o risco de geada nos meses de junho e julho (meses mais frios do ano) é menor no norte e noroeste do Paraná (<30%) e é maior no sul do estado (>30%), devido à combinação da altitude e da latitude. O Paraná fica no paralelo 23 °S (Trópico de Capricórnio), na transição do clima tropical para o temperado e, ao sul deste paralelo, ainda ocorre aumento gradual da altitude, acima dos 600 m, contribuindo ainda mais para a redução da temperatura. Em agosto, o risco de geada começa a diminuir, mas ainda é alto no sul do estado (>30%).

Os riscos climáticos são calculados para os períodos críticos das culturas que, geralmente, são o estabelecimento e o florescimento. No caso do eucalipto, considera-se apenas o estabelecimento da cultura no campo, isto é, o primeiro ano de plantio. As zonas com maior risco de geada são consideradas restritas para o eucalipto, exceto para aquelas espécies adaptadas às zonas com ocorrência de geada, como *E. dunnii* e *E. benthamii*, por exemplo. Contudo, estas espécies são de menor produtividade. As espécies preferidas e as mais plantadas no Brasil e que possuem maior produtividade,

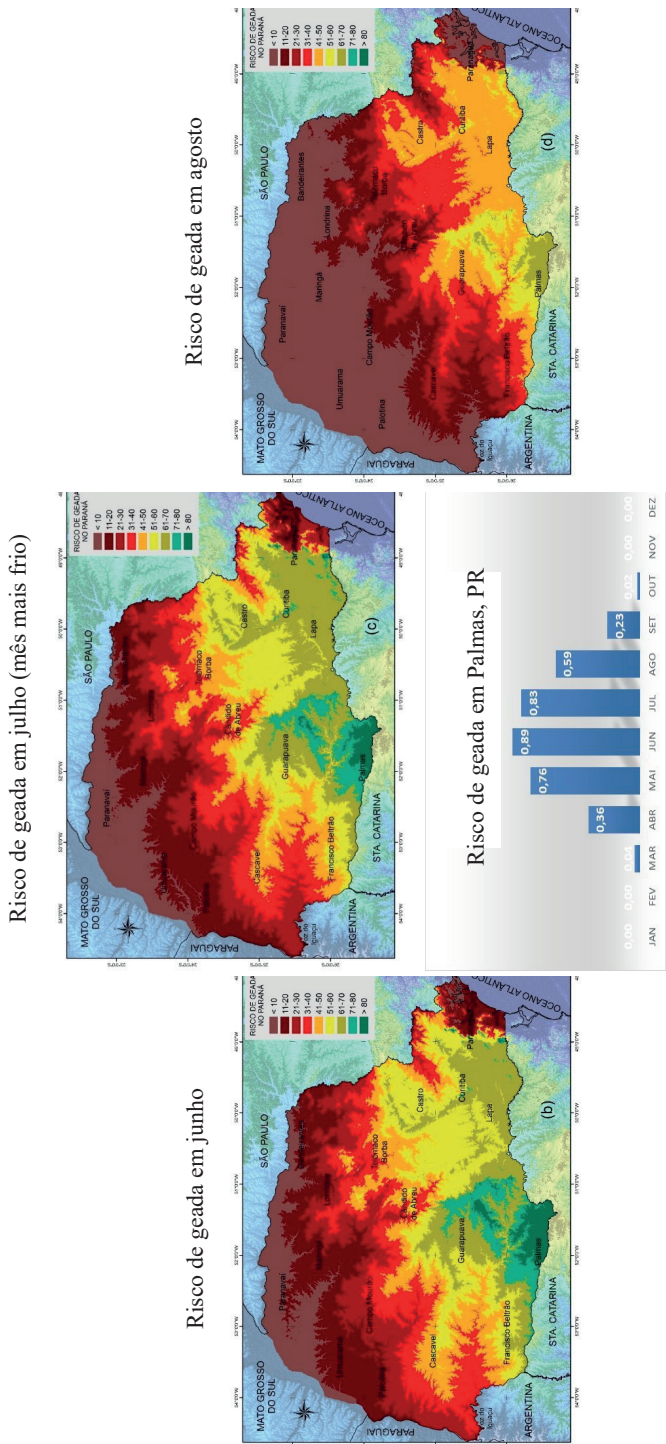


Figura 5. Risco de geada no inverno no estado do Paraná e exemplo gráfico do risco de geada em Palmas (probabilidade de ocorrência de geada vs. meses do ano), um dos municípios mais frios do estado (probabilidade: 0-1, sendo 0: não ocorrência de geada e 1: máxima probabilidade de ocorrência de geada).

Fonte: Wrege et al. (2018a).

E. grandis e o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* não toleram geada, em razão da adaptação ao clima quente.

Zoneamento edáfico - critérios usados para definição das classes de preferência

A elaboração do zoneamento edáfico tem como pré-requisito a existência e a disponibilidade de uma base cartográfica de solos representativa da realidade de campo, de preferência em escala semidetalhada, evitando que manchas pequenas de solos que existem no campo não apareçam no mapa. No momento, a escala de solos disponibilizada no Brasil é 1:500.000 ou 1:250.000, dependendo da região. Nesta escala, as menores manchas de solos podem não aparecer no mapa.

Em uma região plana, o nível de detalhe exigido é menor e a escala não precisa ser muito maior, mas em uma região menos uniforme, com relevo acidentado e, conseqüentemente, com grande variação espacial dos atributos de solo e do clima, os mapas precisam ser feitos em escala semidetalhada (1:50.000 ou maior) para melhor caracterizar a realidade existente no campo. A seguir, será exemplificado o zoneamento edáfico feito para a região do Corede Sul, extremo sul do Rio Grande do Sul, em escala semidetalhada. Esta região é de grande fragilidade ambiental, com ocorrência de geada, estiagens, relevo bastante acidentado, presença de solos rasos, arenosos e pedregosos, em alguns locais com solos hidromórficos e com poucas manchas de solos férteis, constituindo um problema para o plantio comercial de eucalipto. Assim, os zoneamentos edáfico, agroclimático e sua combinação, o zoneamento edafoclimático, devem ser e foram feitos em escala semidetalhada (Flores et al., 2009). Estes estudos podem servir de base aos trabalhos futuros de zoneamento agrícola, contribuindo para reduzir os riscos nos diversos setores da área rural, aumentar a produtividade destes setores e garantir a sustentabilidade do sistema de seguro rural no País.

No zoneamento edáfico para eucalipto, foram utilizados os levantamentos de solos dos municípios integrantes do Corede Sul, na escala de trabalho aproximada de 1:50.000, segundo a compilação realizada por Cunha et al. (2006). Foram abordados vários aspectos relacionados aos atributos de solos que ocorrem na região, sendo classificados segundo um número mínimo de características edáficas importantes para o estabelecimento e desenvolvimento do eucalipto, entre as quais profundidade efetiva, drenagem, textura, relevo, fertilidade e pedregosidade ou rochosidade (Flores et al., 2009).

Os itens referentes à textura, profundidade efetiva, relevo, drenagem e pedregosidade, apresentados a seguir, foram baseados na publicação de Flores et al., (2009).

Textura

A textura, uma das mais importantes características físicas do solo, foi considerada por se relacionar diretamente com a capacidade de retenção de água, a permeabilidade do solo, a capacidade de retenção de cátions, a arabilidade do solo e sua suscetibilidade à erosão. As classes de textura consideradas foram adaptadas com base nos grupamentos texturais constantes em Santos et al. (2018), sendo: arenosa, média, argilosa (do tipo 1:1), muito argilosa (1:1), argilosa (2:1), siltosa e orgânica. A expressão orgânica foi atribuída aos solos que apresentam constituição predominantemente orgânica.

Profundidade efetiva

A profundidade efetiva se refere à profundidade máxima na qual as raízes penetram no solo em número razoável, sem impedimento de qualquer natureza, proporcionando às plantas suporte físico e meio para absorção de água, nutrientes e aeração. Nem sempre a profundidade efetiva se limita à profundidade do solo (A + B), podendo ultrapassá-lo, principalmente quando o material de origem dos solos é mais facilmente intemperizável ou muito fraturado (basalto, arenito, dentre outros). São exemplos de impedimentos, a presença de lençol freático, substrato rochoso, camadas compactadas, pedregosidade e fragipans. Consideraram-se as classes de profundidade efetiva recomendadas por Santos et al. (2018), para levantamentos de solos com pequenas modificações (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de profundidade efetiva do solo para eucalipto.

Classes	Profundidade efetiva (cm)
Muito profundo	>200
Profundo	Entre 100 e 200
Pouco profundo	Entre 50 e 100
Raso	≤50
Muito raso	≤25

Relevo

O relevo (Tabela 2) regula os movimentos da água ao longo da vertente, tanto na superfície como no interior do solo. Ele age sobre seu regime hídrico e, conseqüentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas - lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido - e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível - hidrólise, hidratação e dissolução.

Quanto mais íngreme for o terreno, menor a possibilidade de infiltração da água no solo e,

Tabela 2. Classes de relevo para avaliação de aptidão edáfica do eucalipto.

Classes	Declividades (%)
Plano	0 a 3
Suave ondulado	3 a 8
Ondulado	8 a 20
Forte ondulado	20 a 45
Montanhoso	45 a 75
Escarpado	>75

consequentemente, menor o fluxo interno e maior a quantidade de água que escorre na superfície (enxurrada) e maior a energia cinética produzida, potencializando o processo erosivo. Solos situados em relevo íngreme, geralmente, são menos profundos e apresentam menor capacidade de retenção de água. Em uma mesma situação climática, as plantas podem se apresentar com desenvolvimento diferenciado, especialmente as espécies florestais. A informação de profundidade pode também fornecer subsídios ao emprego de implementos e máquinas agrícolas, nas diversas fases do cultivo, além de inferir a respeito da suscetibilidade à erosão. As classes de relevo utilizadas no zoneamento edáfico para eucalipto são as utilizadas por Santos et al. (2018), em levantamentos de solos.

Drenagem

O solo é constituído por partículas de vários tamanhos, desde muito pequenas, como as de argila, até de tamanho dessimétrico, como as de cascalhos e muito grandes, como as de matações. O volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e os agregados constitui a porosidade do solo que determina sua capacidade de armazenar e transmitir líquidos e gases. Os dados de granulometria dos horizontes, juntamente com sua cor, possibilitam inferir, respectivamente, sobre a porosidade do solo e a sua permeabilidade. Os poros grandes e médios são importantes, respectivamente, na aeração e na infiltração de água e na sua condução através do solo e aqueles de tamanho pequeno são importantes no armazenamento da água.

O principal problema referente à drenagem deficiente de alguns solos é a falta de oxigênio, prejudicando a respiração das raízes. Quando é muito acentuada, devido à respiração anaeróbia, podem ocorrer acúmulos de compostos, como etanol, etileno e metano, os quais são tóxicos quando presentes em concentrações elevadas. O ferro e o manganês, uma vez reduzidos para as formas bivalentes, apresentam também toxicidade para as plantas. O conjunto de fenômenos limita o uso de solos com horizonte glei (Gleissolos), ou caracteres, tais como: gleico, plântico ou abráptico. Quanto mais superficiais, maior a limitação de uso.

Na interpretação dos levantamentos de solos para fins do zoneamento edáfico do eucalipto (Tabela 3), são apresentadas classes de drenagem relacionadas às classes definidas em Santos et al. (2018). As classes de drenagem se referem à quantidade e à rapidez com que a água, que é recebida pelo solo, infiltra e escoar, afetando suas condições hídricas, ou seja, a duração do período em que permanece úmido ou encharcado.

Tabela 3. Classes de drenagem empregadas na avaliação da aptidão edáfica para o eucalipto.

Classe	Descrição
Fortemente e excessivamente drenado	A água é removida do solo rapidamente. Solos muito porosos, de textura média a arenosa e bem permeáveis.
Acentuadamente drenado	A água é removida rapidamente do solo. Solos de textura média ou argilosa, porém com atividade baixa (Tb), muito porosos e bem permeáveis.
Bem drenado	A água é removida com facilidade do solo, porém não rapidamente. Os solos geralmente apresentam textura argilosa ou média.
Moderadamente drenado	A água é removida lentamente do solo, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena, porém significativa parte do tempo. Os solos geralmente apresentam camada de permeabilidade lenta na superfície ou imediatamente abaixo dela.
Imperfeitamente drenado	A água é removida lentamente do solo, de modo que este permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos apresentam, geralmente, camada de permeabilidade lenta ou lençol freático alto.
Mal drenado a muito mal drenado	A água é removida do solo tão lentamente que o lençol freático permanece na superfície ou próximo dela na maior parte do ano. Os solos ocupam áreas planas ou depressões onde ocorre, frequentemente, estagnação de água. Solos com gleização e normalmente, com horizonte hístico.

Pedregosidade ou rochosidade

Refere-se à proporção de calhaus, matacões ou exposição de rochas do embasamento, quer sejam afloramentos de rochas, lajes de rochas, camadas delgadas de solos sobre rochas ou predominância de “boulders” com mais de 100 cm de diâmetro. Estão presentes na superfície ou na massa do solo e interferem diretamente na utilização de implementos e máquinas agrícolas. As classes de pedregosidade ou rochosidade empregadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de pedregosidade ou rochosidade empregadas na avaliação da aptidão edáfica do eucalipto.

Classes	Pedras ou rocha (%)	Tipo de restrição
Ausente	0 a 1	Sem restrição
Pouca	1 a 3	Ligeira a moderada
Moderada	3 a 15	Forte
Abundante	>15	Muito forte

Regiões para plantio comercial do eucalipto

O zoneamento edafoclimático permite identificar ambientes onde o eucalipto pode ser plantado comercialmente, na região onde melhor se adapta, combinando os solos mais apropriados com as zonas de menor risco climático (Figuras 5 a 12). No

período de plantio, deve haver a combinação de baixo risco de geada e de disponibilidade hídrica satisfatória, em um solo adequado para o desenvolvimento comercial da espécie que, necessariamente, não precisa ser o mais fértil, mas que agregue o máximo possível dos atributos favoráveis, citados anteriormente (profundidade, drenagem, fertilidade, dentre outros).

Na conclusão das análises de risco e na definição das melhores épocas e regiões para plantio, as ações de validação são necessárias para analisar se os critérios usados na elaboração do zoneamento produziram resultados satisfatórios. Quando isso não ocorre, é necessário refazer o trabalho redefinindo os critérios utilizados, visando atingir um resultado coerente. A validação deve ser feita junto à sociedade, cooperativas, empresas e especialistas que conheçam muito bem o desenvolvimento da espécie.

A Figura 5 é um exemplo de zoneamento de risco climático de eucalipto feito para a região Sul do País. Observa-se que os riscos são menores nas zonas em que a temperatura do ar é maior e, portanto, o risco de geada é menor. No Litoral (zona hachurada na porção leste do mapa), em função do grande volume de chuva, o risco de ocorrência de doenças, como o cancro e a ferrugem, é maior, não sendo indicado o plantio de nenhuma espécie de eucalipto. Na metade sul do Rio Grande do Sul (zona hachurada no sul do estado), o risco de estiagem no verão é alto, o que não é fator impeditivo para o plantio de eucalipto, mas pode estar relacionado à menor produtividade não só do eucalipto, mas de outras espécies também. A zona amarela é a de menor risco, sendo indicada para plantio de *E. grandis* e *E. urophylla* x *E. grandis* (Figuras 6 e 7 e Figuras 10 a 12).

No trabalho de Flores et al. (2009), as características descritas para as unidades de mapeamento, como fertilidade, textura, relevo, drenagem, profundidade efetiva e pedregosidade ou rochosidade, foram inicialmente organizadas e tabuladas em uma matriz, onde foram confrontadas com as necessidades das espécies de eucalipto. Devido à ausência de resultados de pesquisas em nível de espécies, para o eucalipto, não foi possível individualizar a aptidão edáfica, sendo gerado um único mapa na região do Corede Sul. Para cada uma das características avaliadas, foram estabelecidas diferentes classes de aptidão, organizadas em um quadro guia (Tabela 5).

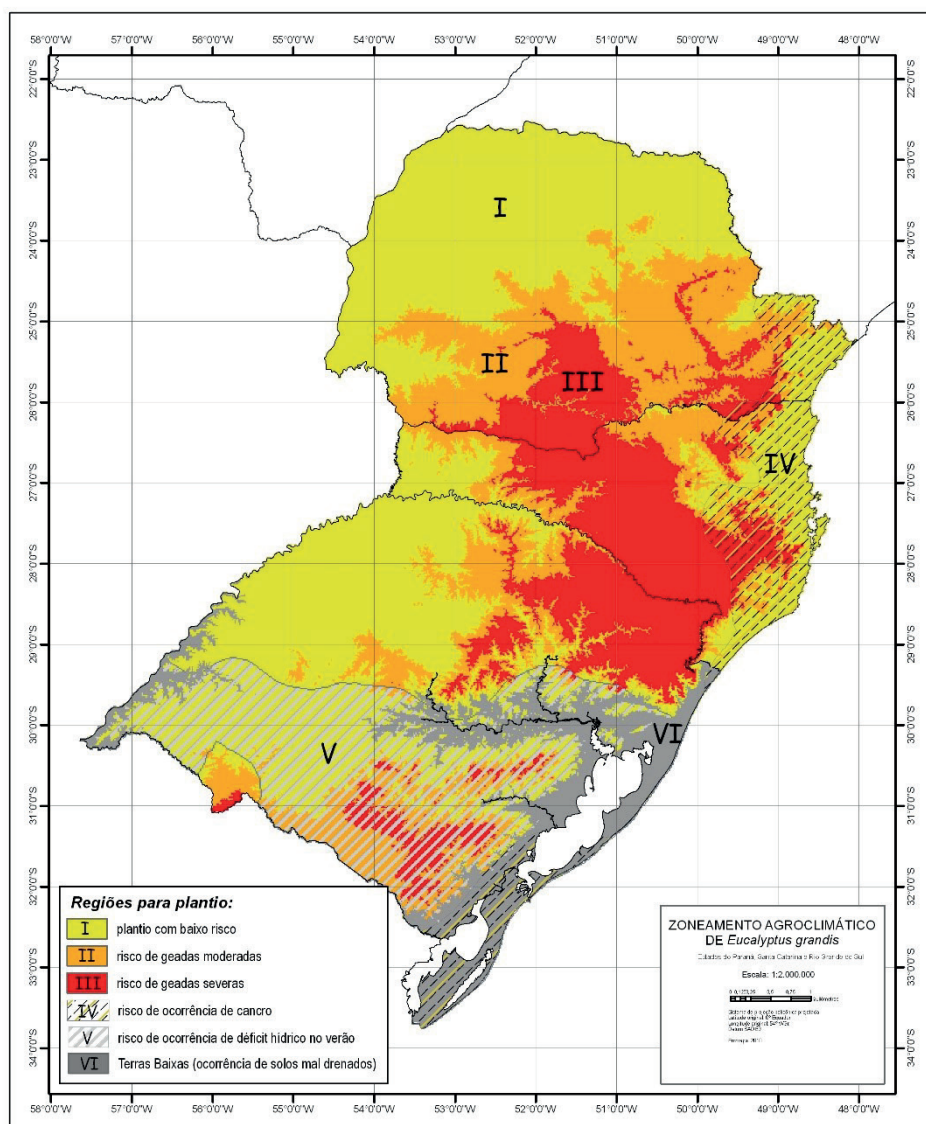


Figura 5. Riscos climáticos para o plantio comercial de *Eucalyptus grandis* nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Zona amarela: baixo risco climático.

Fonte: Higa e Wrege (2010).

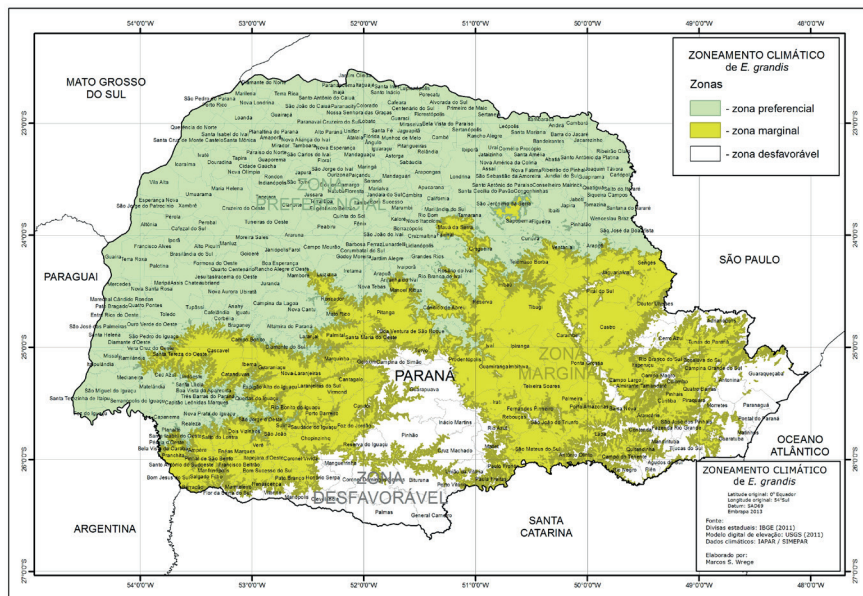


Figura 6. Zoneamento agrícola para *Eucalyptus grandis* no estado do Paraná, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Wrege et al. (2017a).

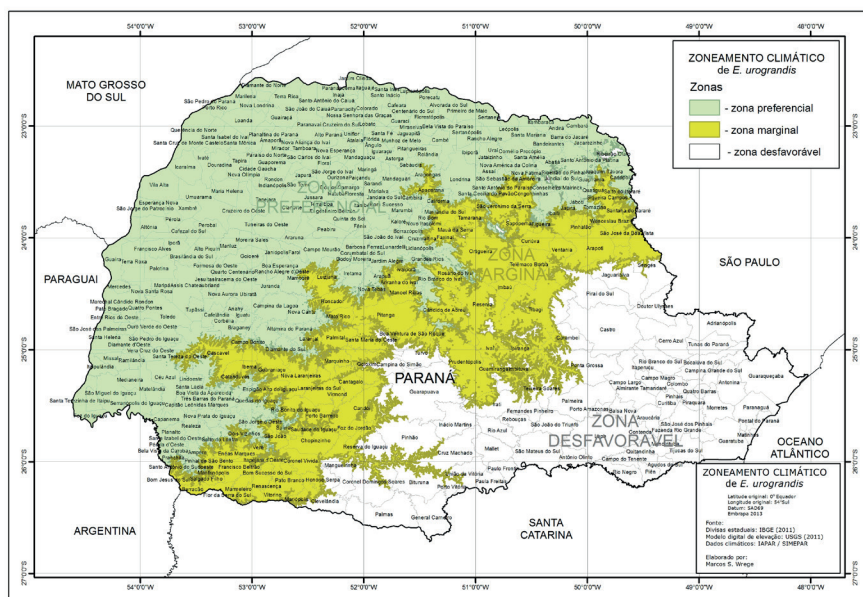
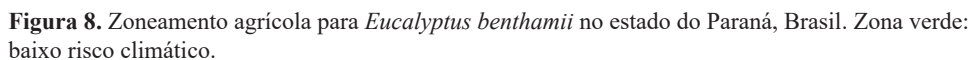
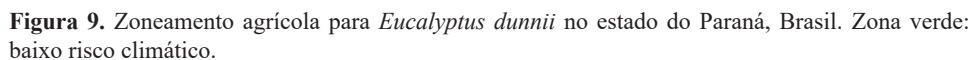


Figura 7. Zoneamento agrícola para *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no estado do Paraná, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Wrege et al. (2017a).



Fonte: Wrege et al. (2017a).



Fonte: Wrege et al. (2017a).

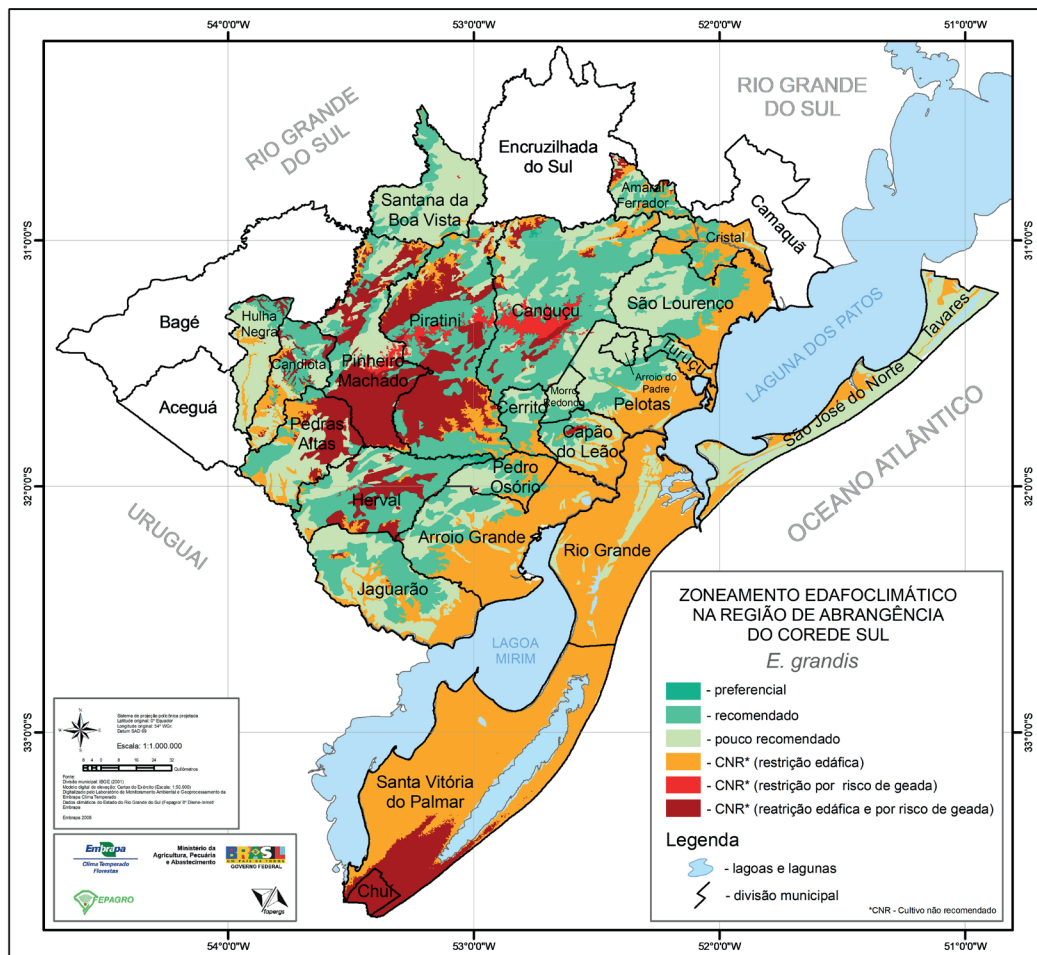


Figura 10. Zoneamento edafoclimático para *Eucalyptus grandis* na região do Corede Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Flores et al. (2009).

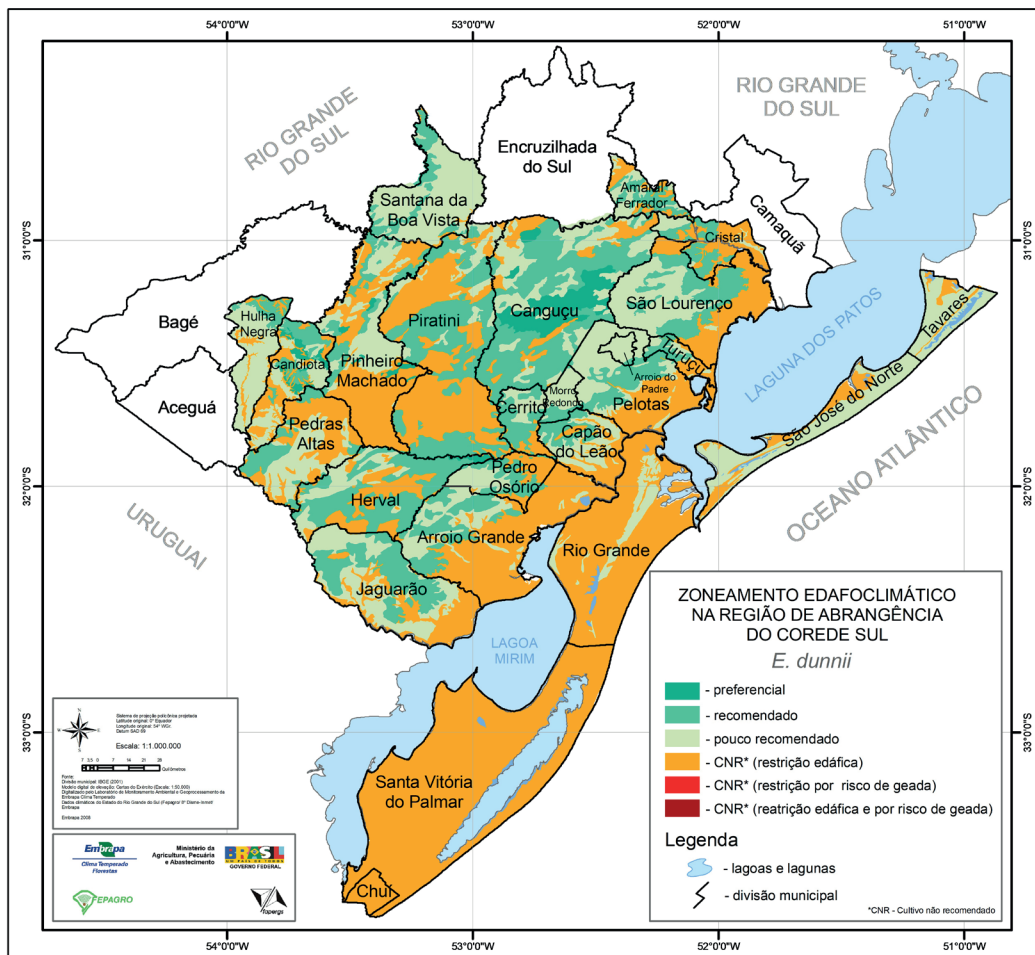


Figura 11. Zoneamento edafoclimático para *Eucalyptus dunnii* na região do Corede Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Flores et al. (2009).

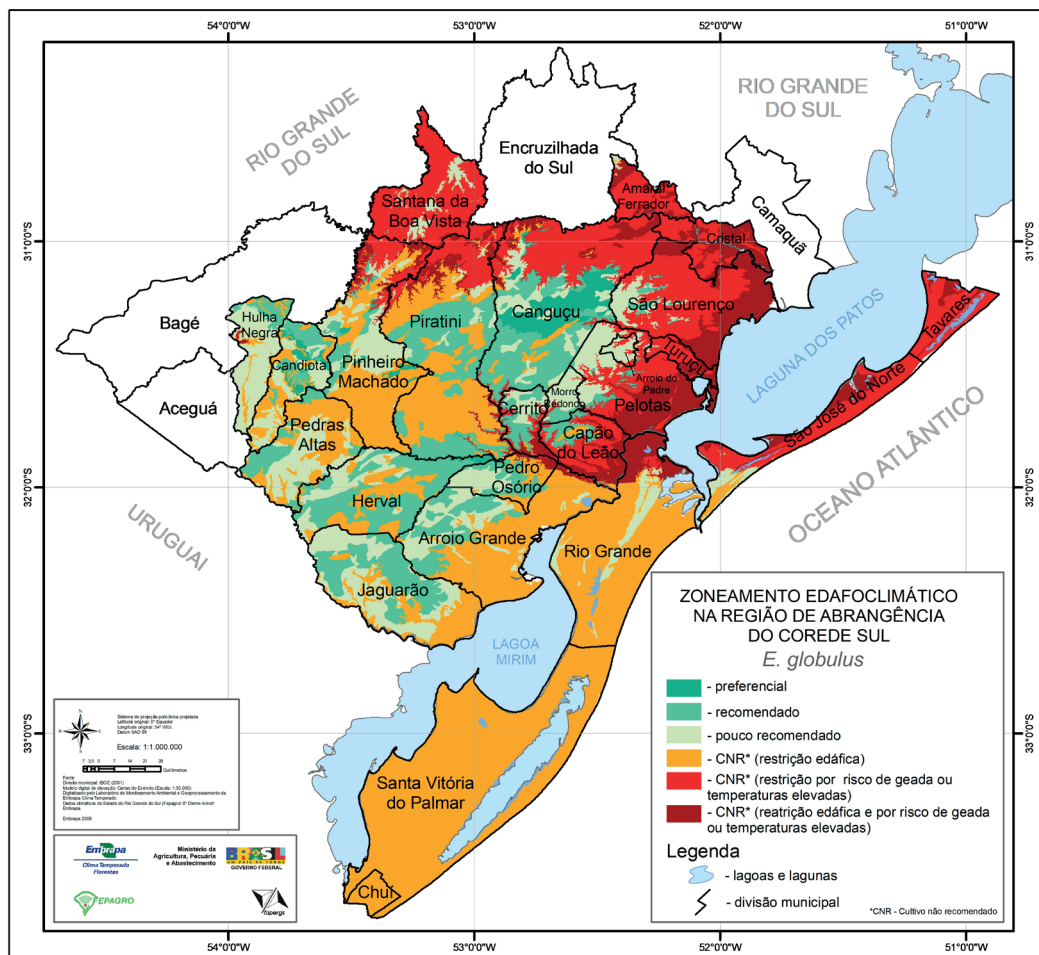


Figura 12. Zoneamento edafoclimático para *Eucalyptus globulus* na região do Corede Sul, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Zona verde: baixo risco climático.

Fonte: Flores et al. (2009).

Tabela 5. Parâmetros utilizados para avaliação das classes de aptidão edáfica para o eucalipto.

Parâmetro	Classe de aptidão			
	Preferencial	Recomendável	Pouco recomendável	Cultivo não recomendável
Drenagem	Fortemente, acentuadamente ou bem drenado	Moderadamente drenado	Imperfeitamente ou excessivamente drenado	Mal ou muito mal drenado
Profundidade efetiva	Muito profundo ou profundo	Pouco profundo	Raso	Muito raso
Grupamento textural	Média ou argilosa (1:1)	Muito argilosa (1:1)	Argilosa (2:1), arenosa ou siltosa	Orgânica
Relevo	Plano ou suave ondulado	Ondulado	Forte ondulado	Montanhoso ou escarpado
Fertilidade	Alta ou média	Baixa	Muito baixa	Presença de sais
Pedregosidade ou rochiosidade	Ausente ou pouca	Moderada	Acentuada	Abundante

Quando os solos apresentavam condições favoráveis à implantação e ao desenvolvimento das espécies, para todas as classes, foram classificados como pertencentes à classe de solos Preferencial. Quando ocorreram restrições em uma ou mais características que limitavam as possibilidades de utilização do solo, foram enquadrados em classes distintas de aptidão Recomendável, Pouco recomendável e Cultivo não recomendável. Para o enquadramento dos solos em uma determinada classe de aptidão, utilizou-se o fator de solo mais restritivo. As classes de aptidão edáfica consideradas neste trabalho foram as seguintes:

- Preferencial (P): classe que compreende terras sem limitações significativas. Há um mínimo de restrições que não reduzem a produtividade de forma expressiva e que não aumentam a exigência de insumos acima de um nível considerado aceitável.
- Recomendável (R): classe em que estão compreendidas as terras que apresentam limitações moderadas, porém, com redução de produtividade, aumentando a necessidade de insumos. Ainda que atrativas, estas terras são sensivelmente inferiores àquelas obtidas pelas da classe Preferencial.
- Pouco recomendável (PR): classe que compreende terras que apresentam limitações fortes, com consequente limitação de produtividade, aumentando a necessidade de insumos. O desenvolvimento e a produtividade das espécies de *Eucalyptus* tendem a ser baixas.
- Cultivo não recomendável (CNR): as terras se apresentam com limitações muito fortes para o uso com *Eucalyptus*, independentemente do manejo empregado.

Com os resultados obtidos na avaliação, foi gerado o mapa de aptidão edáfica para o eucalipto, mediante reclassificação do mapa de solos da região do Conselho

Regional de Desenvolvimento (Corede Sul). Neste processo, utilizou-se o sistema de informação geográfica ArcInfo (ArcGis, 2019). As áreas correspondentes às classes Preferencial e Recomendada somaram aproximadamente 926 mil hectares, ou seja, aproximadamente 25% do território avaliado, sendo que 72% da área sofre fortes restrições edáficas.

Com estas ações, pode-se reduzir a frustração de safras no Brasil e pode-se afirmar que o zoneamento agrícola cumpriu seu objetivo, ao combinar maior conhecimento das regiões com maior conhecimento da fenologia das espécies cultivadas, utilizando uma metodologia coerente e embasada cientificamente, que contribui para reduzir a sinistralidade, as coberturas duvidosas e para tornar o programa superavitário, garantindo sua sustentabilidade.

As regiões favoráveis para o plantio comercial de eucalipto com as mudanças climáticas

O eucalipto poderá, nas próximas décadas, ocupar uma maior área plantada no País, expandindo-se para novas regiões. As mudanças climáticas globais têm causado alteração do regime pluvial e aumento da temperatura do ar na maior parte das regiões, favorecendo a expansão da eucaliptocultura, inclusive para o Sul do País. A tendência é de que o eucalipto, até o final do século, tenha condições de se desenvolver mesmo em regiões de altitude acima dos 800 metros na região Sul do País, onde hoje é dada maior preferência ao plantio de espécies do gênero *Pinus*. Wrege et al. (2017a), utilizando um simulador estocástico de cenários climáticos futuros - o PGEclima_R (Virgens Filho et al., 2011) - para gerar camadas de clima nos cenários futuros, simularam cenários para eucalipto (*E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. benthamii*) no estado do Paraná, fazendo projeções até 2070, em um pior cenário (A2) e em um cenário menos pessimista (B1) (Figuras 13 a 15). No pior cenário, a pressuposição é de que nenhuma medida será tomada e aumentarão as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera, principalmente como resultado das ações antrópicas, tendo como resultados o aumento de temperatura e a redução do risco de geada, favorecendo o cultivo comercial do eucalipto, de um modo geral.

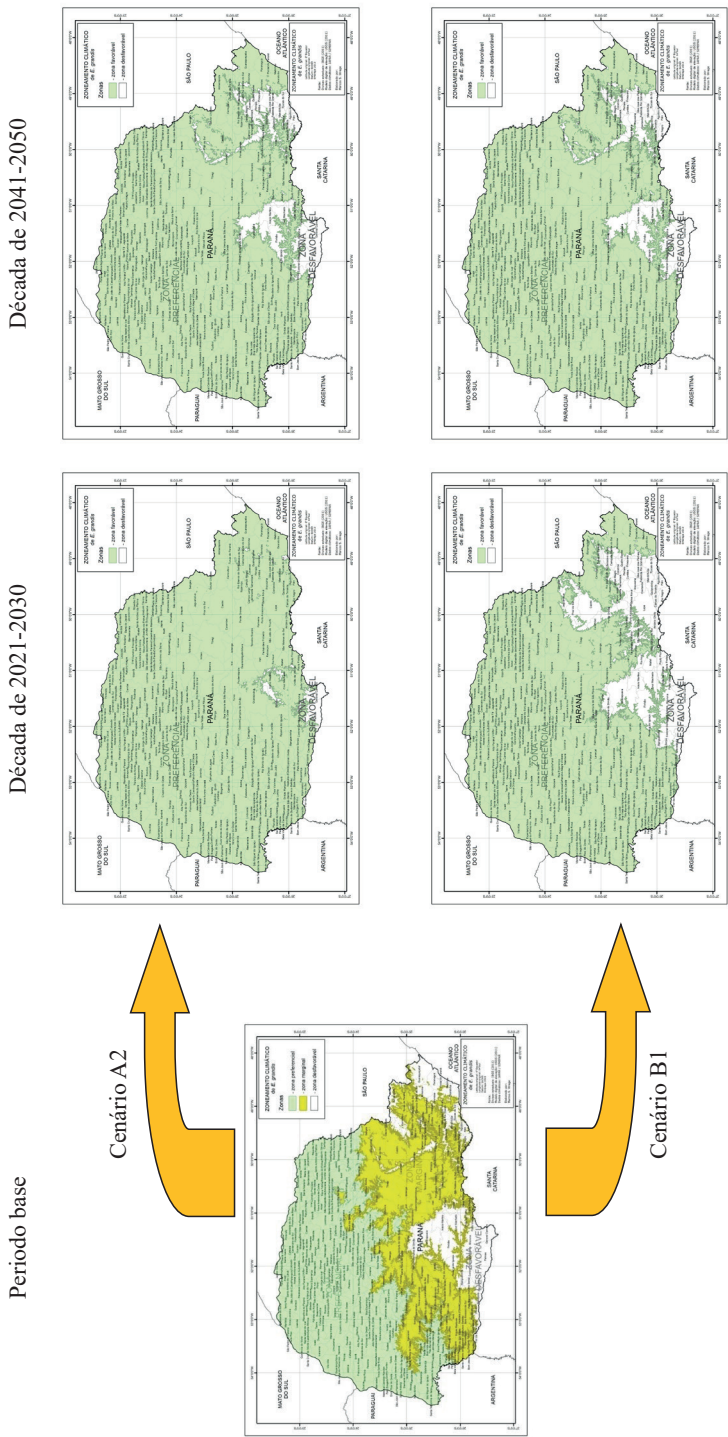


Figura 13. Os novos cenários para plantio comercial de *Eucalyptus grandis*, no estado do Paraná.

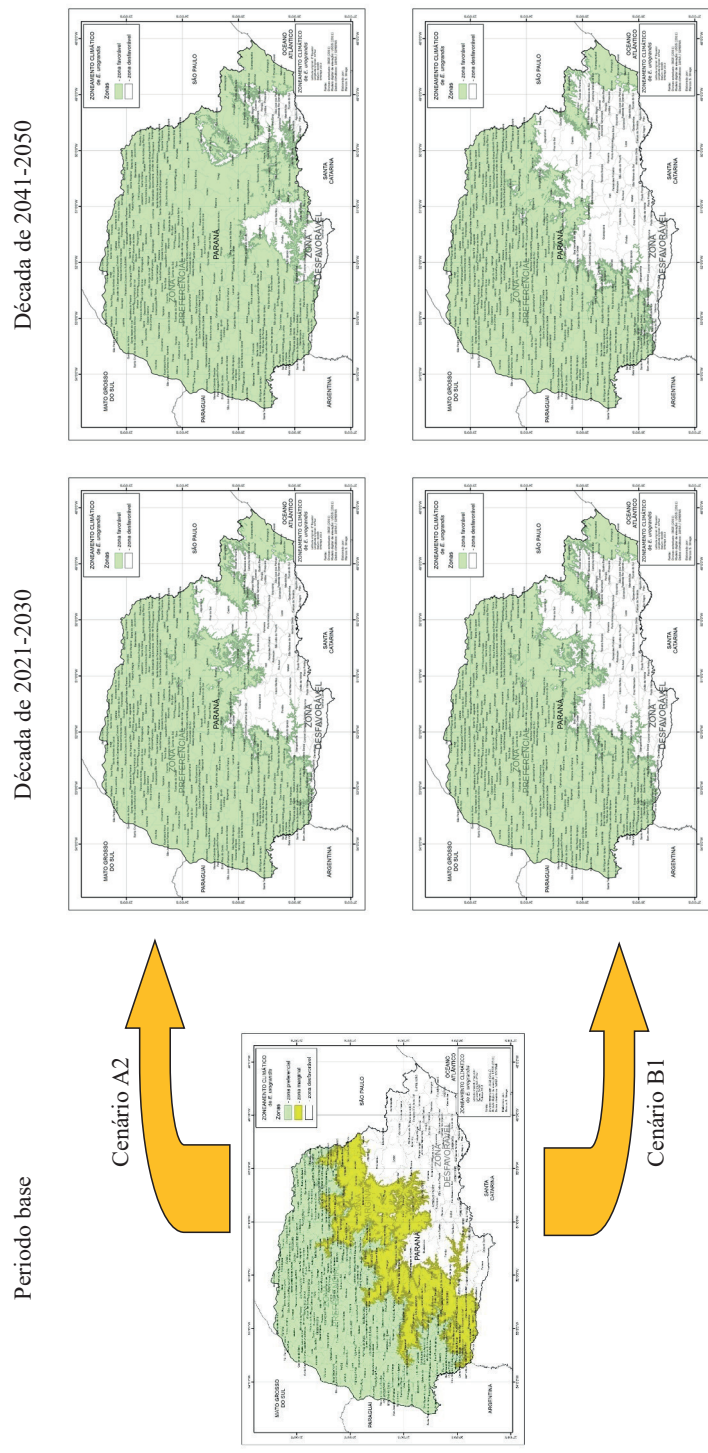


Figura 14. Os novos cenários para plantio comercial de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, no estado do Paraná.

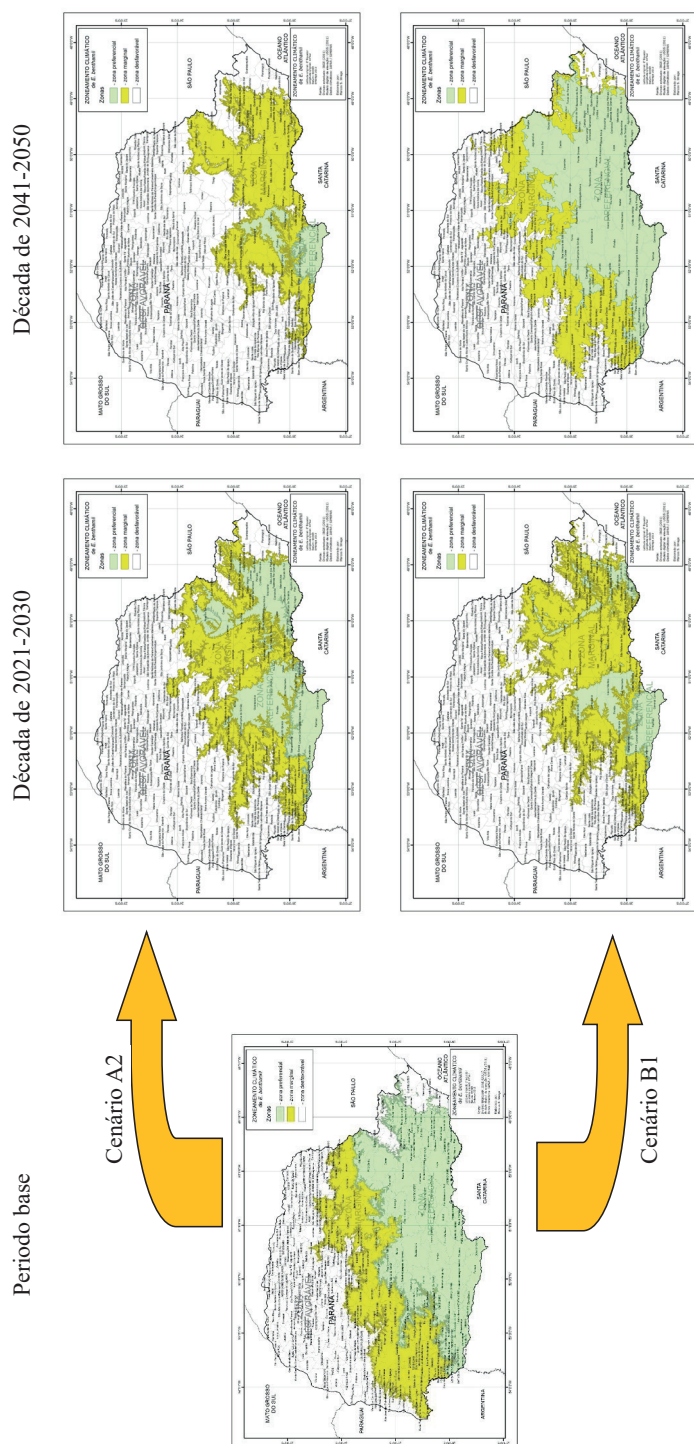


Figura 15. Os novos cenários para plantio comercial de *Eucalyptus benthamii*, no estado do Paraná.

Perspectivas futuras e demandas de pesquisa

O aperfeiçoamento do zoneamento pode ser realizado pela agregação de atributos pedológicos nas análises de risco, como a profundidade, a drenagem, a pedregosidade, a textura, a fertilidade, a capacidade de armazenamento de água (CAD), a quantidade de matéria orgânica, dentre outros atributos. Desse modo, pode ser reduzido os riscos na silvicultura e, conseqüentemente, as taxas de sinistralidade e, assim, garantir a sustentabilidade dos programas de governo, entre os quais o Proagro e o Pronaf.

Além da inclusão dos solos, a melhoria da resolução espacial das camadas e dos mapas representa outra condição essencial, principalmente, para os solos. Assim, a mudança da escala de trabalho atual, que é de nível estadual (1:250.000 ou 1:500.000), para o nível municipal, em escala semidetalhada (Escala 1:50.000 ou 1:10.000), permitirá que o zoneamento seja feito para cada município, ao invés de estado. Um exemplo disso é o zoneamento edafoclimático para o eucalipto na região do Corede Sul do Rio Grande do Sul, apresentado neste capítulo de livro.

O trabalho realizado, em nível municipal, permitirá detalhar o zoneamento em nível de cultivar, variedade ou clone, promovendo maior aproximação entre equipe executora e setor produtivo local. Assim, poderão ser feitas recomendações para as cultivares, variedades ou clones melhor adaptados para cada local e diminuir os riscos causados pelas adversidades climáticas. O sucesso do estabelecimento de uma cultura, entre outros fatores, está associado à escolha das cultivares, variedades ou clones comerciais mais bem adaptados às condições edafoclimáticas de cada região.

A coleta de dados fenológicos históricos e a elaboração de um banco de dados com informações sobre o desempenho das culturas, em nível municipal, também é de suma importância. Essas informações podem contribuir para aperfeiçoar os cálculos dos riscos agrícolas.

Com as mudanças climáticas globais, será importante intensificar o monitoramento dos plantios comerciais de eucalipto, principalmente, quanto à ocorrência de novas pragas e doenças, que podem se favorecer do aumento de temperatura e de pluviosidade. A demanda de pesquisa com novos insetos e doenças de importância econômica ao eucalipto, portanto, é iminente. As análises de risco de ocorrência de insetos e doenças deverá, em breve, ser associada ao zoneamento agrícola.

Com as tecnologias atualmente existentes, pode-se fazer a previsão de ocorrência de pragas e doenças com a simulação de cenários climáticos futuros. Além disso, pode-se vislumbrar medidas que possam ser tomadas para evitar a entrada de novas pragas e doenças no País, nos próximos anos.

Agradecimentos

À Itaipu e à Embrapa, pelo apoio financeiro. Este capítulo de livro é parte do resultado do Projeto Validação das Tecnologias Integradas para a Produção de Biomassa Florestal Energética e Aumento da Competitividade das Cadeias Produtivas de Espécies Florestais Introduzidas na Bacia do Paraná 3 (Bioeste).

Ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (Fapergs), pela concessão de auxílio financeiro ao Projeto Zoneamento Agroecológico como Subsídio ao Desenvolvimento da Silvicultura na Região do Corede Sul, Fronteira Oeste, Central e Jacuí Centro, RS.

À Finep, pelo financiamento do Projeto Simulação dos Impactos das Mudanças Climáticas Globais sobre os Setores de Agropecuária, Floresta e Energia (Simcafe).

Referências

- BRASIL. Lei nº 5.696, de 12 de dezembro de 1973. Institui o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 12 dez. 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1970-1979/L5969.htm>. Acesso em: 13 ago. 2019.
- CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T. de; ANDROCIO FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D.; KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 486-494, 2001a.
- CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGGE, M. S.; CAVIGLIONE, J. H.; OLIVEIRA, D. de; FARIA, R. T. de; LOLLATO, M. A.; MARIOT, E. J.; KRANZ, W. M.; PARRA, M. S.; BIANCHINI, A. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 477-485, 2001b.
- CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGGE, M. S.; OLIVEIRA, D. de; LOLLATO, M. A.; MARIOT, E. J.; KRANZ, W. M.; BIANCHINI, A. **Zoneamento da cultura do feijão no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1998. (IAPAR. Circular técnica, 99).
- CUNHA, G. R.; ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2006. Número especial: Zoneamento Agrícola.
- CUNHA, G. R. da; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; CARAMORI, P. H.; ASSAD, E. D.; BRAGA, H. J.; ZULLO JÚNIOR, J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O.; THOMÉ, V. M. R.; ZAMPIERI, S. L.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 400-414, 2001.
- ESRI. **ArcGIS**: software. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S.; FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C. Zoning based on climate and soil for planting Eucalyptus in southern region of Rio Grande do Sul State, Brazil. In: PRADO, H. A. do; LUIZ, A. J. B.; CHAIB FILHO, H. **Computational methods for agricultural research: advances and applications**. Hershey: Information Science Reference, 2011. p. 127-143

FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGE, M. S. (ed.). **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na Região do Corede Sul - RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 87 p.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a. aproximação)**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).

GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; SHIOGA, P.; GERAGE, A. C. Épocas de semeadura do milho safrinha no Paraná com menores riscos climáticos. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1287-1290, 2002.

GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Risco de ocorrência de geada no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; GARRASTAZU, M. C. Espécies de eucalipto potenciais para reflorestamento no Estado do Paraná. In: SANTAROSA, E.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. (ed.). **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 27-40.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S. **Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Documentos, 209). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/883452>>.

PINTO, H. S.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do estado de São Paulo em função da altitude e latitude**. São Paulo: Instituto de Geografia, FFCL, USP, 1972. 20 p. (Caderno ciências da terra, 23).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 16 maio 2020.

VIRGENS FILHO, J. S.; FÉLIX, R. P.; LEITE, M. L.; TSUKAHARA, R. Y. PGECLIMA_R: gerador estocástico para simulação de cenários climáticos brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros: anais**. Guarapari: Incaper, 2011. p. 1-5.

WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; FRITZSONS, E.; PARTALA, A.; CHRISTENSEN, G. L. Agroclimatic zoning for eucalyptus in the state of Paraná and the new scenarios defined by global climate change. **Geama**, v. 3, p. 216-228, 2017a.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; PANTANO, A. P.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região Centro-Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018a.

WREGGE, M. S.; GARRASTAZU, M. C.; FLORES, C. A.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C. Zoneamento edafoclimático da acácia-negra para o extremo sul do Brasil. **Agrometeoros**, v. 25, p. 83-93, 2017b.

WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; CARAMORI, P. H.; VASCONCELLOS, M. E. C.; OLIVEIRA, D. de; ABUCARUB NETO, M.; CAVIGLIONE, J. H. Risco de deficiência hídrica na cultura do feijoeiro durante a safra das águas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.1, p. 51-59, 1997.

WREGGE, M. S.; REISSER JÚNIOR, C.; STEINMETZ, S.; RADIN, B.; FRITZSONS, E. Risco de déficit hídrico para espécies florestais e frutíferas no Rio Grande do Sul. **Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 55-68, 2018b.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, CARLOS; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 332 p.

